

ACQUE

Ricerca - Trivellazione - Captazione
Idrogeologia - Ambiente

FASCICOLO 76

SOTTERRANEE



Andate oltre le
apparenze.....

Come ridurre i vostri costi di esercizio?



Lo schema Grundfos illustra il ciclo dei costi di esercizio e fornisce supporti utili alle società di approvvigionamento idrico per ottimizzare il funzionamento dei sistemi di pompaggio nel corso del ciclo di vita produttivo.

Grundfos può contribuire alla riduzione dei costi di pompaggio attraverso un'adeguata consulenza tecnica, training specifici, servizi logistici e assistenza post vendita affidabili.

Cosa intende Grundfos per "costo totale di esercizio"

Le aziende municipalizzate possono controllare o ridurre i propri costi con un'attenta analisi dei costi di esercizio usufruendo di tutti i vantaggi offerti dalla partnership con Grundfos.

Pensare avanti. Analizzare i costi di esercizio. Visitate il nostro sito www.grundfos.com o contattate Grundfos Pompe Italia S.r.l. - Uff. Marketing - tel 02 95838112.

BE > THINK > INNOVATE >

GRUNDFOS 



**RILEVANZA DEI DATI SPERIMENTALI NELLA MODEL-
LAZIONE NUMERICA DI UN ACQUIFERO DI GRANDE
ESTENSIONE : IL FONDOVALLE DEL FIUME ADIGE**

N.Quaranta - M.Buffo - A.Refsgard pag.09

**ATTIVITA' DI MONITORAGGIO PIEZOMETRICO E QUALITATIVO FINA-
LIZZATE ALLA VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DEGLI INTERVENTI DI
RISANAMENTO AMBIENTALE ESEGUITI NELL'AREA EX-ACNA DI
CESANO MADERNO (MI)**

M.Pieroni - A.Cuomo - B.Rovelli pag.19

REGIME TRANSITORIO IN UN POZZO IN FALDA FREATICA

G.Chiesa pag.37

**SPERIMENTAZIONE SUL SISTEMA ACQUIFERO DELLA CENTRALE
LAMBRO (MILANO)**

E.Romano - F.Di Palma - R.Airoldi - C.Arduini - M.Giudici -
G.Ponzini pag.45

IN QUESTO NUMERO HANNO COLLABORATO :

R.Airoldi - C.Arduini - M.Buffo - G.Chiesa - A.Cuomo - F.Di Palma -
M.Giudici - M.Pieroni - G.Ponzini - N.Quaranta - A.Refsgard -
E.Romano - B.Rovelli

Comitato scientifico

G.P.Beretta, Giovanni Brighenti, Giorgio Cassiani, Pietro
Bruno Celico, Alessandro Colombetti, Giovanni Crosta,
Walter Ulderico Dragoni, Vincenzo Francani, Maurizio
Gorla, Maurizio Polemio, Nicola Tosi

CartaSi



Per poter facilitare l'acquisto delle
nostre pubblicazioni abbiamo
inserito una ulteriore possibilità di
pagamento con carta di credito.
(Vedere i dettagli nella cartolina
allegata alla rivista).

In copertina :



GRUNDFOS Pompe Italia S.r.l.
Via Gran Sasso 4
20060 Truccazzano - Mi

ACQUE SOTTERRANEE

Ricerca - Trivellazione - Captazione
Idrogeologia - Ambiente

Direttore Responsabile

Giovanni Cerbini

Redazione

Giovanni Cerbini - Michele Cerbini - Liviana Berettini

Impaginazione / fotocomposizione eseguita in proprio
con computer Power Macintosh G3 - Scanner AGFA
Duoscan T 1200

RUBRICHE

EDITORIALE di Gianni Cerbini pag.5

RECENSIONI pag.44

NOTIZIARIO ANIPA pag.29-32

Abbonamento Anno 2002 - EURO 46,48 (6 numeri).
Numeri arretrati EURO 15,49.

Modalità di pagamento per sottoscrizione abbonamento :
con assegno bancario o circolare, carta di credito, c/c postale
n°56406200 intestato a GEO-GRAPH di Dr. Cerbini & C. s.n.c. via
Turati 5M - 20090 Segrate (Milano).

Rivista bimestrale - Registrazione del Tribunale di Milano n.113 del
15.02.84 - Sped. abbonamento postale comma 26 art.2 legge 549/95-
Milano.

L'editore si riserva la facoltà di rifiutare a suo insindacabile giudizio
qualsiasi inserzione che ritenesse non consona al genere della pubbli-
cazione.

L'inserzione terrà sollevati ed indenni l'Editore e la Direzione da qualsiasi
responsabilità derivanti dalle pubblicazioni di inserzioni pubblicitarie
contenenti violazioni ai diritti d'autore, ai brevetti, alle norme sulla con-
correnza.

Tutti i diritti della proprietà artistica e letteraria sono riservati.
Manoscritti e foto anche se non pubblicati non verranno restituiti.

La responsabilità di quanto espresso sugli scritti pubblicati rimane esclusi-
vamente agli Autori.



Associata all'Unione della Stampa Periodica Italiana

Organo di stampa A.N.I.P.A.
Via Massettana Romana 56 - 53100 SIENA Tel. 0577. 49276

Redazione e pubblicità: Via Turati 5M
20090 Segrate MI - Tel.02.26922924 - fax 02.2137289

E-mail : acquesotterranee@tin.it
WEB : www.acquesotterranee.com
Stampa: ITALGRAFICA SEGALE - Via Galvani 3
20090 Segrate MI - Tel.02.26922866

Sperimentazione sul sistema acquifero della centrale Lambro (Milano)

Emanuele Romano¹, Fiammetta Di Palma², Riccardo Airoidi³, Cristina Arduini², Mauro Giudici¹ e Giansilvio Ponzini¹.

¹ Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra, Sezione di Geofisica, via Cicognara 7 - 20129 Milano, Italia.

² Sistema Informativo Falda. Provincia di Milano - Direzione Centrale Ambiente - Corso di Porta Vittoria 27 - 20122 Milano, Italia.

³ Settore Servizio Idrico Integrato - Servizio Acquedotto. Comune di Milano - Via Meda 44 - 20141 Milano, Italia.

Abstract

Il sistema acquifero della città di Milano per le sue caratteristiche di forte eterogeneità presenta una grande variabilità nei parametri idrodinamici, la cui conoscenza è fondamentale per una corretta gestione delle risorse idriche sotterranee. In tale contesto assume grande importanza la scala spaziale alla quale si opera. In questo lavoro vengono presentati i risultati di una campagna sperimentale condotta sull'area di una centrale di pompaggio dell'Acquedotto Municipale di Milano (Centrale Lambro) al fine di identificare lo schema idrogeologico e i parametri idrodinamici dell'acquifero alla scala di centrale.

Parole chiave: acquifero multistrato, centrale di pompaggio, prova di portata, parametri idrodinamici

Key-words: multilayer aquifer, pumping station, pumping test, hydrodynamic parameters

1. Introduzione

Il sistema acquifero della città di Milano, formato da depositi sedimentari del Quaternario continentale e di transizione, presenta caratteristiche di forte eterogeneità in quanto costituito da facies differenti per geometria, granulometria e caratteristiche idrodinamiche.

Dall'analisi delle stratigrafie è possibile individuare un sistema acquifero che si estende fino ad una profondità di poco superiore ai 100 m, detto acquifero tradizionale, e un acquifero profondo, sul cui spessore non si hanno a disposizione dati certi. All'interno dell'acquifero tradizionale si identificano setti semipermeabili argillosi o siltosi non continui suborizzontali, di potenza variabile da pochi centimetri fino ad una decina di metri. La discontinuità di tali setti non consente una ricostruzione idrostratigrafica univoca: se, infatti, in certe zone dell'acquifero la continuità e la potenza dei setti semipermeabili porta a concettualizzare l'acquifero tradizionale mediante uno schema multistrato costituito dall'alternanza di acquiferi e acquitardi, in altre aree la mancanza di tali strati suggerisce come più idoneo uno schema monostrato.

Per l'acquifero profondo, separato dall'acquifero tradizionale da uno spesso strato argilloso-siltoso, si hanno a disposizione dati litostratigrafici fino ad una profondità di circa 200 m; le stratigrafie indicano la presenza di lenti

sabbiose di spessore dell'ordine di qualche metro all'interno di un terreno costituito prevalentemente da argilla.

L'eterogeneità del sistema indica l'estrema importanza che la scelta della scala di studio ha nella determinazione delle caratteristiche idrodinamiche del sistema acquifero.

In questo lavoro vengono presentati i risultati della sperimentazione condotta sull'acquifero sottostante la centrale di pompaggio Lambro, estesa su circa 0.5 km² e di proprietà dell'Acquedotto di Milano, al fine di determinare i parametri idrogeologici del terreno alla scala di centrale. In particolare, una volta ricostruito lo schema idrogeologico, tra il 22 maggio 2000 e il 27 maggio 2000 è stata condotta una campagna di misure per la valutazione delle variazioni delle altezze piezometriche relative all'acquifero tradizionale e all'acquifero profondo in condizioni di inattività della centrale stessa.

Quindi è stata organizzata ed eseguita una prova di portata nell'area della centrale al fine di determinare i coefficienti di trasmissività e di immagazzinamento dell'acquifero, mettendone in luce eventuali disomogeneità.

2. Descrizione del sito e struttura idrogeologica

La centrale Lambro è situata alla periferia nord-orientale della città di Milano e sorge all'interno del parco cittadino omonimo che si estende per circa 8 km².

La zona, situata tra i comuni di Milano e di Segrate è caratterizzata da vaste aree non cementificate e dalla presenza del fiume Lambro.

Nelle zone limitrofe alla centrale Lambro (a distanza di circa 2 km), sono situate altre tre centrali attive dell'Acquedotto di Milano.

Riportiamo in figura 1 l'ubicazione delle centrali Padova, Feltre; Crescenzago e Lambro e in tabella 1 il numero di pozzi attivi e la portata annuale estratta relativa all'anno 2000.

Centrale	n° pozzi	Emungimenti annuali (10 ⁶ m ³)
Padova	20	16,2
Crescenzago	11	7,8
Feltre	22	9,3

Tabella 1: emungimenti dalle centrali Padova, Feltre e Crescenzago relativi all'anno 2000

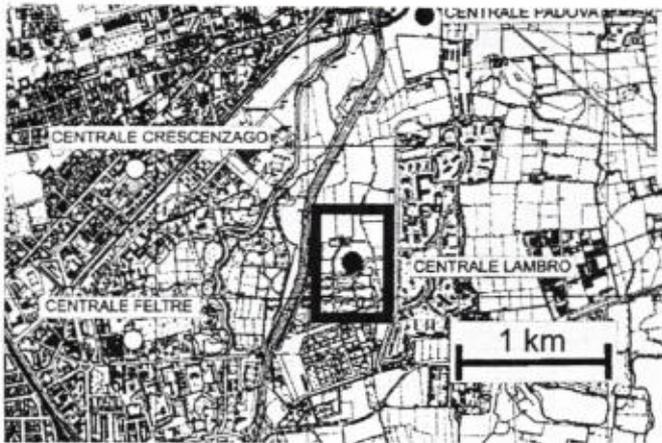


Figura 1. Mappa dell'area del Parco Lambro (base topografica: Carta Tecnica Regionale, Regione Lombardia)

Secondo il modello dell'acquifero tradizionale elaborato da Giudici et al. (2000), attualmente l'alimentazione dell'acquifero nell'area del Parco Lambro avviene principalmente da nord e da nord-est con un gradiente massimo dell'ordine del 3‰.

Nell'area della centrale i gradienti idraulici diminuiscono, pur mantenendo una direzione nord-est/sud-ovest, fino a valori dell'ordine dell'1.5‰.

In figura 2 abbiamo riportato la mappa dell'area della centrale Lambro con l'ubicazione dei pozzi. Ognuna delle posizioni indicate dalle lettere A, B, C, D, E e F indica la posizione di una coppia di pozzi, dei quali uno è profondo un centinaio di metri e l'altro ha una profondità variabile

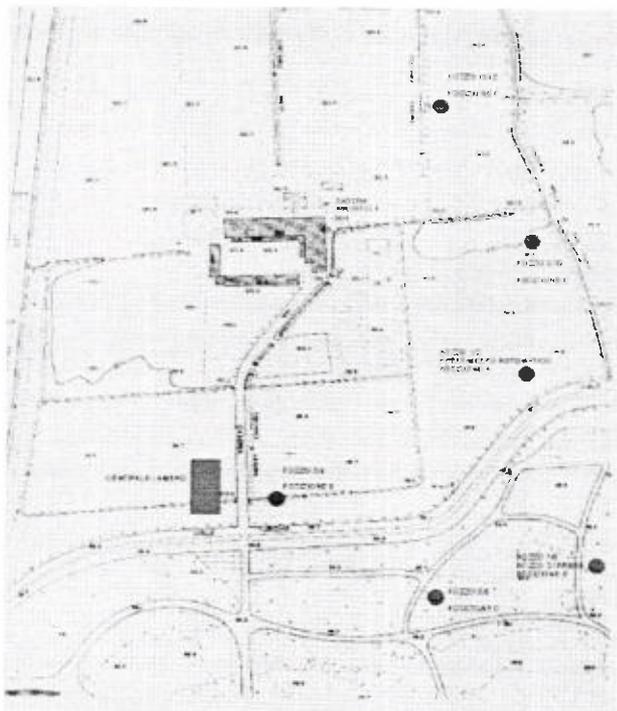


Figura 2. Mappa della Centrale Lambro. Posizione dei pozzi di presa e dei piezometri

tra 160 e 190 m.

L'utilizzo di pozzi di diversa profondità permette lo sfruttamento sia dell'acquifero tradizionale (pozzo superficiale) che dell'acquifero profondo.

Nel seguito di questo paragrafo spiegheremo più in dettaglio la geometria del sistema presentando alcune stratigrafie di singoli pozzi.

In ogni coppia di pozzi sono installati da 2 a 3 piezometri, a diverse profondità, che consentono la misura dell'altezza piezometrica relativa ai diversi acquiferi.

Riportiamo in tabella 2 l'ubicazione e la profondità dei singoli pozzi e l'ubicazione e la profondità dei piezometri.

L'analisi delle stratigrafie relative ai pozzi ha permesso di ricavare alcune informazioni sullo schema idrogeologico del sistema in esame.

In figura 3 riportiamo le stratigrafie relative ai pozzi 11/12, 9/10, 1/2 e 7/8 corrispondenti ad una sezione

Ubicazione	A		B		C		D			E			F		
n° pozzo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Prof. pozzo (m)	173	105	160	105	182	102	190	101	179	107	190	103			
Piezometro	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3
Prof. piezometro (m)	170	101	152	90	138	73	135	81	42	150	65	45	120	84	40

Tabella 2. Posizione e profondità dei pozzi di presa e dei piezometri

approssimativamente orientata lungo la direzione N-S.

Caratteristica comune a tutte le stratigrafie dei pozzi della centrale è l'alternanza di strati sabbiosi e argillosi, di spessore variabile con la profondità.

Tale caratteristica è in accordo con le osservazioni già effettuate in altri pozzi dell'Acquedotto di Milano (Airolidi e Casati 1989) che indicano un sistema acquifero complesso, multistrato, caratterizzato dall'alternanza di strati permeabili con setti semipermeabili discontinui. E' tuttavia possibile individuare a una profondità poco superiore a 100 metri uno spesso strato di argilla, evidenziato in tutte le stratigrafie e quindi supposto continuo. Esso costituisce il fondo dell'acquifero tradizionale. Fino a metà degli anni '80 i pozzi più profondi dell'Acquedotto Municipale non superavano i 100 metri di profondità e dunque l'acquifero tradizionale era l'unico ad essere sfruttato.

Sotto l'acquifero tradizionale si estende l'acquifero profondo, caratterizzato dalla presenza di lenti sabbiose aventi spessore variabile dal decimetro fino a qualche metro divise da spessi strati di argilla. I pozzi più profondi estraggono acqua da tali lenti sabbiose, in corrispondenza delle quali sono posti i filtri.

3. Descrizione della sperimentazione

3.1 Organizzazione

La sperimentazione condotta ha due obiettivi fondamentali:

a) Acquisire dati sulle variazioni delle altezze freatiche e piezometriche sia dell'acquifero tradizionale che dell'acquifero profondo al fine di individuarne la tendenza o

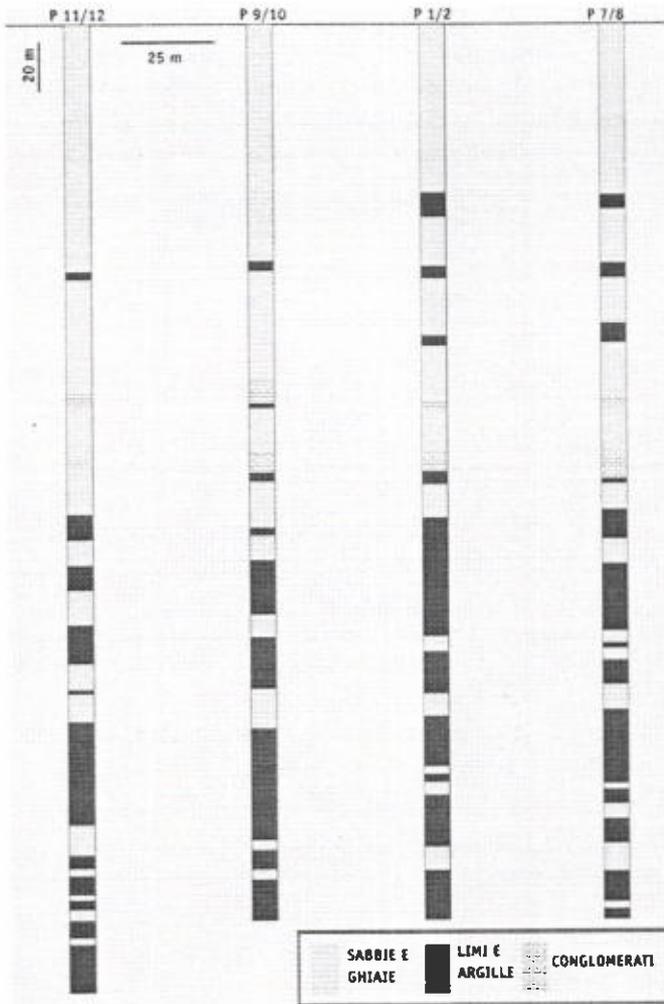


Figura 3. Stratigrafie relative ad una sezione sezione N-S

un'eventuale periodicità.

b) Valutare mediante una prova di portata i coefficienti di trasmissività e di immagazzinamento dei due acquiferi.

L'acquisizione di dati sulle variazioni di altezze freatiche e piezometriche risulta fondamentale per ottenere dalle prove di portata dati significativi, cioè dati per i quali sia possibile attribuire alla sola azione del pompaggio tali variazioni.

Quando non si operi partendo da uno stato iniziale stazionario risulta necessario depurare i dati dal rumore di fondo costituito, nel nostro caso, dalle variazioni di altezza freatica registrate a pozzi fermi.

Una prima fase della sperimentazione è stata, dunque, dedicata al monitoraggio delle altezze piezometriche in ore diverse della giornata nei 15 piezometri dei pozzi della centrale ed ha avuto durata di 2 giorni

La seconda fase della sperimentazione è stata dedicata alla realizzazione della prova di portata.

Tale prova è stata eseguita utilizzando il pozzo 7 come pozzo di presa (posizione C, profondità del pozzo: 190 m) ed utilizzando tutti i piezometri dell'area per misurare i livelli piezometrici dinamici. La prova ha avuto durata complessiva di 24 ore.

La terza fase della sperimentazione è consistita nel

monitoraggio della fase di risalita, seguente allo spegnimento del pozzo di presa ed ha avuto durata complessiva di 24 ore.

3.2 Andamento giornaliero della soggiacenza.

L'andamento giornaliero della soggiacenza, definita come differenza tra il livello topografico e il livello freatico, è stato misurato con una sonda automatica installata nel piezometro A2 dalle ore 13 del 23/5 fino alle ore 9 del 27/5 con un passo di campionamento di 2 minuti.

Riportiamo nel grafico di figura 4 i dati così raccolti. Considerata la profondità del piezometro nel quale è stata

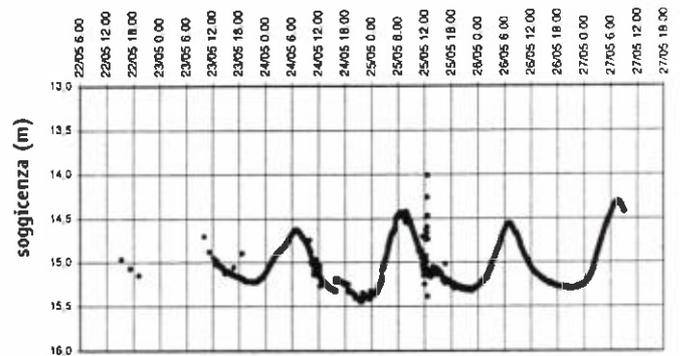


Figura 4. Valori di soggiacenza misurati nel piezometro A2

installata la sonda (101 m), possiamo riferire i dati raccolti all'acquifero tradizionale.

La curva presenta un andamento di tipo periodico, estremamente regolare, con periodo di 1 giorno.

Il livello di falda comincia ad abbassarsi ogni giorno intorno alle ore 7 e raggiunge il minimo intorno alle ore 22; la risalita, più rapida, raggiunge il massimo alle ore 7 del giorno successivo.

La variazione giornaliera è di quasi 1 metro.

Nei grafici di figura 5 e di figura 6 riportiamo le altezze piezometriche misurate nei piezometri sia profondi che superficiali rispettivamente in posizione B e in posizione E nei giorni 22/5 e 23/5, mediante sonde manuali.

Le misure raccolte nei piezometri superficiali B2 e E3 mostrano il medesimo andamento registrato dalla sonda automatica nel piezometro A2; al contrario le misure rac-

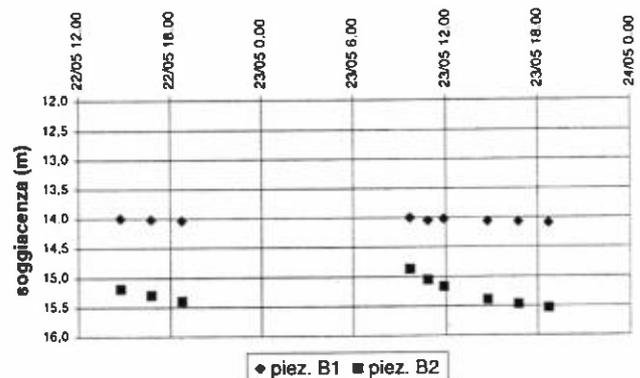


Figura 5. Valori di soggiacenza nei piezometri B1 e B2: andamento giornaliero

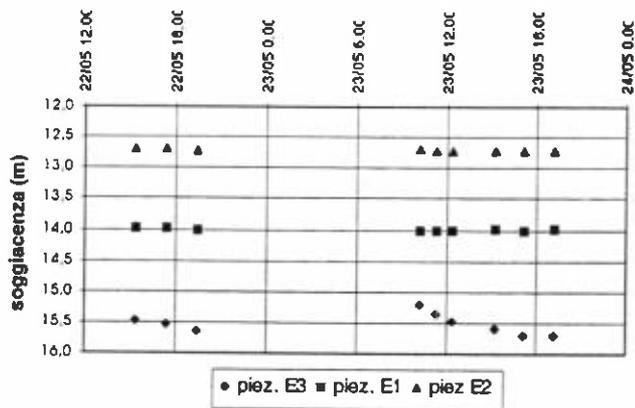


Figura 6. Valori di soggiacenza nei piezometri E1, E2 e E3: andamento giornaliero

colte nei piezometri profondi B1 e E1 indicano movimenti minimi della pressione in condizioni indisturbate, ovvero quando non siano in atto emungimenti dall'acquifero profondo.

Sembra, dunque, che acquifero tradizionale ed acquifero profondo siano separati e presentino flusso non accoppiato. Di contro, i diversi strati che costituiscono l'acquifero tradizionale sembrano essere connessi nella zona in esame: tutti i piezometri superficiali, nonostante siano posti ad una profondità variabile tra 40 e 101 m e, dunque, riferibili a strati diversi, presentano il medesimo andamento.

E' da supporre che i setti argillosi presenti nell'acquifero tradizionale non siano continui, ma costituiscano piuttosto lenti di dimensioni limitate.

L'andamento registrato, considerata l'ampiezza della variazione del livello di falda e la regolarità dei dati raccolti nel piezometro A2, non è attribuibile a fenomeni locali.

Possiamo attribuire tali variazioni in prima istanza agli emungimenti giornalieri effettuati nei pozzi delle tre centrali limitrofe (Crescenzago, Feltre e Padova) ed in altri pozzi privati presenti nella zona.

Non abbiamo, tuttavia, elementi sufficienti per valutare l'ipotesi formulata.

3.3. Prova di portata: risultati sperimentali

La prova di portata è stata effettuata complessivamente in 48 ore, durante le quali si sono misurate per 24 ore le variazioni dell'altezza di falda in seguito ad emungimento continuo dal pozzo 7 e per le rimanenti 24 ore la successiva fase di risalita. Un contatore volumetrico applicato sulla condotta esterna del pozzo di presa ha misurato una portata media di 26 l/s.

Poiché, almeno in prima approssimazione, l'abbassamento è lineare in funzione del logaritmo del tempo, si è misurata la soggiacenza nei piezometri variando il passo di campionamento nella maniera riportata in tabella 3.

Riportiamo nelle figure da 7 a 12 i dati raccolti in tutti i piezometri relativi alle prove di portata.

I dati raccolti nei piezometri nelle posizioni A, B e D mostrano andamenti simili; in particolare notiamo che i

movimenti dell'acquifero superficiale misurati nel piezometro D3 durante le prove di portata sono del tutto simili a quelli misurati negli altri giorni, nonostante gli emungimenti effettuati abbiano provocato un abbassamento della piezometria dell'acquifero profondo di circa 10 m.

Tempo	Passo di campionamento
0<t<20 min	2 min
20 min<t<2h	10 min
t>2h	1 h

Tabella 3: organizzazione della prova di portata

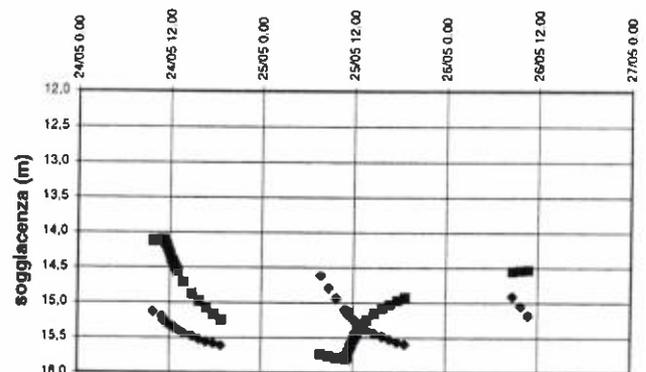


Figura 7. Prova di portata: misure di soggiacenza nei piezometri B1 (quadrati) e B2 (rombi)

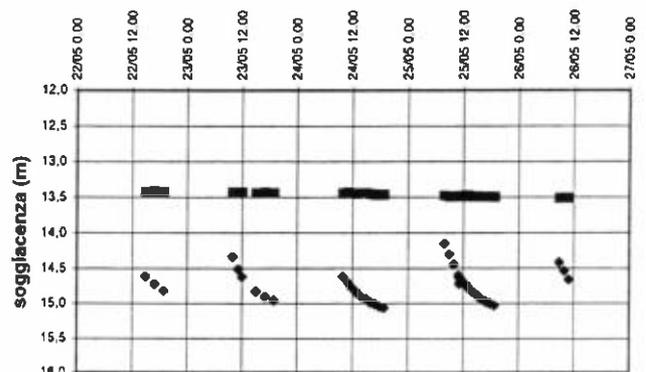


Figura 8. Prova di portata: misure di soggiacenza nei piezometri C1 (quadrati) e C2 (rombi)

Notiamo inoltre che né in fase di pompaggio, né in fase di risalita, il sistema sembra pervenuto ad uno stato stazionario. I grafici di figura 8 e 12 presentano invece delle anomalie. Nella figura 8 il piezometro C1, relativo all'acquifero profondo, non registra variazioni durante l'intera settimana di sperimentazione; riteniamo dunque che tali dati non siano significativi.

Gli andamenti registrati nei piezometri in posizione F (figura 12) mostrano caratteristiche particolari: tutti e tre i piezometri registrano variazioni dell'altezza piezometrica simili a quelle registrate dalla sonda automatica installata in A2 e relative all'acquifero tradizionale.

Inoltre tali variazioni risultano molto più evidenti nel piezometro profondo F3 (profondità: 120 m) che nel piezometro superficiale F1 (profondità: 40 m). Sembra, dun-

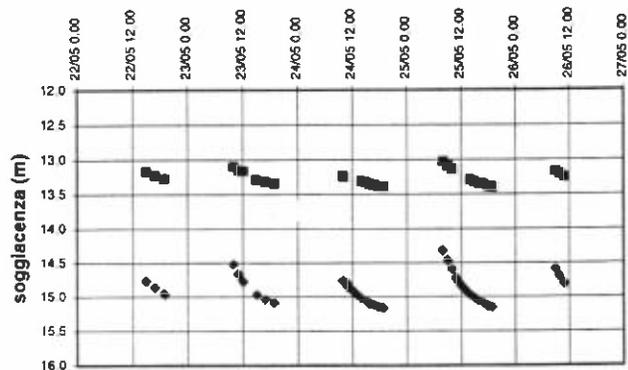


Figura 9. Prova di portata: misure di soggiacenza nei piezometri D2 (quadrati) e D3 (rombi)

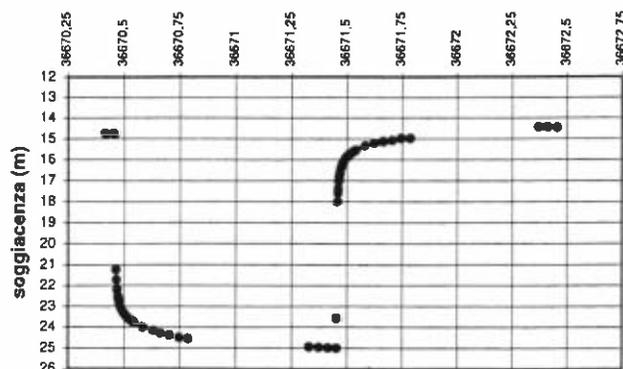


Figura 10. Prova di portata: misure di soggiacenza nel piezometro D1

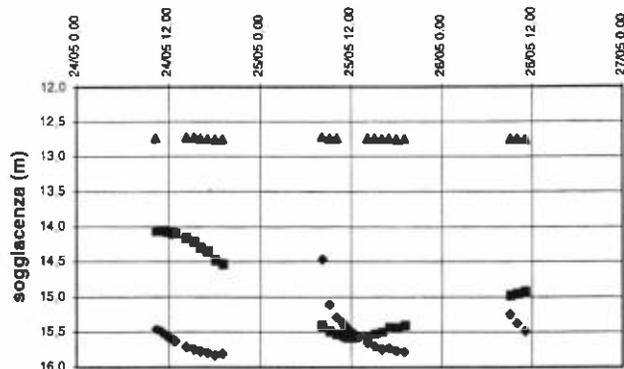


Figura 11. Prova di portata: misure di soggiacenza nei piezometri E1(quadrati), E2 (rombi) e E3 (triangoli)

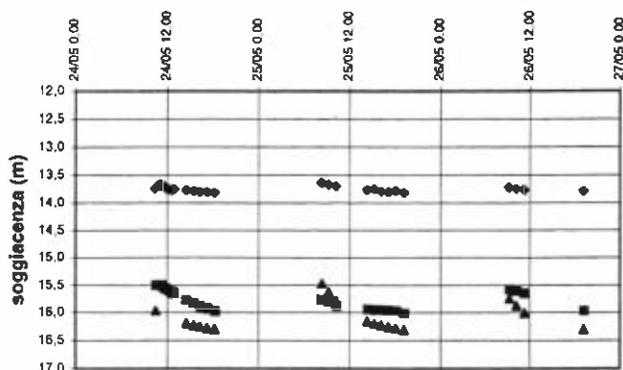


Figura 12. Prova di portata: misure di soggiacenza nei piezometri F1 (quadrati), F2 (triangoli) e F3 (rombi)

que, che in corrispondenza della posizione F i due acquiferi siano accoppiati.

4. Analisi dei risultati

4.1 Il metodo di Jacob

Nell'analizzare i risultati delle prove di portata assumiamo che l'acquifero sia confinato e che, dunque, la trasmissività sia costante nel tempo.

Molti metodi di analisi delle prove di portata si basano sulla soluzione dell'equazione di Laplace in coordinate cilindriche e prendono in esame stati quasi-stazionari, caratterizzati da abbassamenti trascurabili dell'altezza piezometrica in funzione del tempo.

Tuttavia nel nostro caso (vedi, ad esempio, figure 7 e 8) né in fase di pompaggio né in fase di risalita il sistema perviene ad uno stato stazionario, rendendo così necessario riferirsi ad equazioni che descrivano il flusso idrico in condizioni transitorie.

Il metodo di Jacob nel caso transitorio (Kruseman e De Ridder, 1994) tiene conto dell'allargamento del cono di depressione intorno al pozzo di presa in funzione del tempo, ed è basato sulla soluzione dell'equazione di diffusione in coordinate cilindriche sotto particolari condizioni:

- i. Acquifero supposto di estensione infinita (condizioni al contorno lontane)
- ii. Acquifero omogeneo, isotropo, di spessore uniforme
- iii. Portata estratta costante nel tempo.

Con tali assunzioni è possibile ottenere una funzione analitica che esprima l'abbassamento dell'altezza piezometrica in un punto ad una distanza r dal pozzo di presa, in dipendenza dalla portata estratta e dai parametri idrogeologici dell'acquifero in esame.

In definitiva, dunque, un'analisi delle prove di portata può essere effettuata con il metodo di Jacob sotto le condizioni espone in precedenza, una volta note le seguenti grandezze:

- (a) Portata estratta Q
- (b) Distanza r del piezometro dal pozzo di presa
- (c) Tempo caratteristico t dipendente dall'inerzia del sistema
- (d) Abbassamento Δs dell'altezza piezometrica.

Il metodo presentato può essere utilizzato anche per l'analisi dei dati raccolti nella fase di risalita successiva allo spegnimento del pozzo di presa.

4.2 Analisi della prova di portata

I grafici sulle prove di portata relativi sia alla fase di pompaggio che a quella di risalita indicano che i flussi nei due acquiferi sono disaccoppiati, almeno alla scala spaziale e temporale utilizzata. Per questo motivo la nostra analisi sarà incentrata sui dati raccolti nei piezometri profondi.

Osserviamo, innanzitutto, che le condizioni necessarie per l'applicazione del metodo di Jacob sono, con buona approssimazione, verificate:

- Lo spessore dell'acquitrando tra l'acquifero tradizionale e l'acquifero profondo è tale da poter considerare quest'ultimo confinato. Inoltre i dati raccolti in condizioni indisturbate indicano che l'altezza piezometrica dell'acquifero profondo è sempre superiore a quella dell'acquifero tradizionale (figure 5 e 6)
- La portata estratta è costante.
- Non sappiamo dove possano essere situate le condizioni al contorno per l'acquifero confinato; tuttavia le significative differenze tra le altezze piezometriche dell'acquifero tradizionale e dell'acquifero profondo ci portano a supporre che le condizioni al contorno di quest'ultimo siano poste lontano dalla zona della centrale.

Occorre, tuttavia, notare che quello che abbiamo chiamato acquifero profondo, in realtà non è un unico acquifero di spessore costante, ma una successione di lenti sabbiose; analizzando le prove di portata con il metodo di Jacob otterremo valori di trasmissività integrati su tutto lo spessore dell'acquifero profondo e non sui singoli livelli permeabili che lo compongono.

In figura 13 abbiamo riportato a titolo di esempio i dati raccolti nel piezometro B1 in scala semilogaritmica; in ordinata è stato posto l'abbassamento dell'altezza piezometrica rispetto all'altezza iniziale. Il tempo caratteristico t_0 e l'abbassamento Δs , necessari rispettivamente per il calcolo del coefficiente di immagazzinamento e della trasmissività, sono stati ottenuti per via grafica.

Riportiamo in tabella 4 i risultati ottenuti, indicando per ogni piezometro la distanza dal pozzo di presa r e i valori di trasmissività e del coefficiente di immagazzinamento calcolati mediante il metodo di Jacob.

Ricordiamo che la portata estratta dal pozzo di presa misurata mediante contatore volumetrico è $Q = 26$ l/s.

Nell'analisi non sono stati tenuti in considerazione i dati raccolti nel piezometro C1 perché considerati non significativi e i dati raccolti nei piezometri F1, F2, F3 perché non

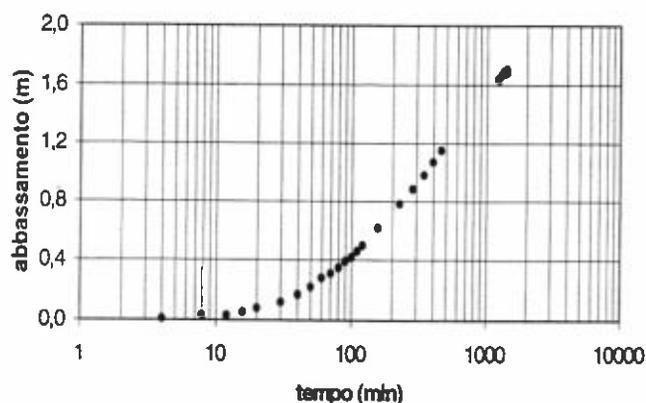


Figura 13. Prova di portata: misura di soggiacenza nel piezometro B1 durante la fase di pompaggio in scala semilogaritmica

si è registrato alcun abbassamento attribuibile all'emungimento dal pozzo 7.

Una prima valutazione delle conducibilità caratteristiche dell'acquifero profondo può essere effettuata a partire dai corrispondenti valori di trasmissività.

Per questo consideriamo uno spessore equivalente dell'acquifero profondo dato dalla somma degli spessori delle singole lenti sabbiose che lo costituiscono e nelle quali sappiamo sono posti i filtri: dal rapporto tra le trasmissività e i corrispondenti spessori ricaviamo una stima della conducibilità media rappresentativa di tutto l'acquifero in esame.

In tabella 4 sono riportati, oltre ai valori di trasmissività ricavati dalla prova di portata, gli spessori equivalenti ricavati dalle stratigrafie e i corrispondenti valori di conducibilità.

5. Conclusioni e prospettive future

1. Le stratigrafie relative ai pozzi della centrale consentono di individuare ad una profondità di circa 110 m uno strato argilloso potente una decina di metri che separa l'acquifero tradizionale dall'acquifero profondo.

2. Il monitoraggio del livello piezometrico in condizioni indisturbate ha evidenziato variazioni cicliche del livello freatico con ampiezza variabile tra 0,5 m e 1 m e periodo di 1 giorno.

3. Tali variazioni non sono state contemporaneamente registrate nei piezometri relativi all'acquifero profondo. Ciò porta a supporre che la conducibilità e lo spessore dell'acquitrando siano tali da poter considerare trascurabili gli scambi tra di essi.

4. I movimenti dei livelli d'acqua dell'acquifero tradizionale misurati durante la prova di portata sono del tutto simili a quelli misurati in condizioni "indisturbate". Questo fatto conferma quanto esposto al punto precedente.

Non sappiamo, tuttavia, se operando in condizioni differenti (ad esempio, utilizzando più pozzi di presa) il leakage non possa aumentare considerevolmente rendendo, così, non trascurabili, gli scambi tra di esse.

5. L'analisi delle prove di portata, effettuata mediante il metodo di Jacob, indica un valore di trasmissività dell'acquifero profondo pari a $T \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

L'ordine di grandezza delle conducibilità è di 10^{-4} m/s . Per il coefficiente di immagazzinamento si è ottenuta una stima di $S = 5 \cdot 10^{-4}$.

Le conclusioni ora esposte aprono, in realtà, diverse prospettive e indicano più linee di sviluppo.

Le variazioni periodiche della tavola d'acqua sono di notevole entità; l'ipotesi che gli abbassamenti e le successive risalite siano dovuti all'attività dei pozzi delle centra-

Piezometro		r(m)	T(m ² /s)	S	spessore (m)	k(m/s)
A1	abbassamento	159	5.9*10 ⁻³	2.2*10 ⁻⁴	15	4.0*10 ⁻⁴
	risalita	159	5.9*10 ⁻³	1.9*10 ⁻⁴	15	4.0*10 ⁻⁴
B1	abbassamento	245	4.3*10 ⁻³	4.4*10 ⁻⁴	21	2.1*10 ⁻⁴
	risalita	245	6.6*10 ⁻³	3.8*10 ⁻⁴	21	3.2*10 ⁻⁴
D1	abbassamento	0	5.3*10 ⁻³		28	1.9*10 ⁻⁴
	risalita	0	4.3*10 ⁻³		28	1.5*10 ⁻⁴

Tabella 4. Valori di trasmissività, spessori equivalenti e conducibilità stimati per l'acquifero profondo

li vicini o di altri pozzi privati, per quanto plausibile, deve essere verificata, al fine di valutare le influenze reciproche tra i diversi pozzi di presa.

I dati forniti dalla prova di portata indicano che gli scambi tra acquifero tradizionale e acquifero profondo sono trascurabili.

E' tuttavia evidente che le condizioni alle quali si è operato (un solo pozzo di presa in funzione) non sono quelle che si verificano nella normale attività di una centrale e dunque la conclusione cui siamo pervenuti è solo parziale.

Un monitoraggio continuo delle altezze piezometriche in condizioni diverse da quelle in cui si è operato potrà dare maggiori indicazioni in tal senso.

Lo sviluppo di modelli numerici che simulino il flusso idrico nella zona considerata potrà fornire ulteriori indicazioni sul comportamento della falda alla scala di centrale.

Tali modelli dovranno tener conto delle indicazioni fornite dalle analisi stratigrafiche e dai risultati della prova di portata e, una volta calibrati e validati, costituiranno un utile strumento per una gestione più conveniente del sistema acquifero.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'ing. G. Chiesa per la preziosa collaborazione.

Si ringraziano il sig. Granata e il sig. Zambon del Settore Servizio Idrico Integrato-Settore Acquedotto per l'aiuto fornito in fase organizzativa e realizzativa della sperimentazione.

Si ringrazia l'ing. G. Vecchio (IGM) per il supporto tecnico nell'installazione della sonda automatica. Si ringraziano inoltre il dott. F. Colpo e il dott. D. Villa e i laureandi G. Dalla Via e L. Verderio per la collaborazione in fase operativa.

Il presente lavoro è stato realizzato con il contributo finanziario del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica nell'ambito del progetto "Identificazione dei termini di ricarica degli acquiferi freatici con l'utilizzo di modelli inversi e di indagini geofisiche. Sensibilità al clima e all'antropizzazione" (Coordinatore dell'Unità di Ricerca prof. G. Ponzini) inserito nel Programma di Ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale

(Esercizio 1999) "Effetti climatici ed antropici sui processi idrologici" (Coordinatore scientifico prof. A. Brath).

Extended abstract

In the eastern part of the city of Milano a new cluster of wells (Lambro pumping station) has been completed by the Municipal Water Works during summer 2000.

The shallowest wells of the Lambro Station extract water from the "traditional aquifer", whose bottom is located at about 110 m below the ground surface, the deepest ones exploit the so-called "deep aquifer", consisting of sand lenses few meters thick and separated from each other and from the traditional aquifer by continuous clay layers.

Field work has been executed in May 2000, in order to identify the hydrogeological structure at the scale of the pumping station.

The piezometric head of the "traditional aquifer" has been continuously recorded by an automatic probe for 5 days, under undisturbed conditions, that is with the wells turned off. We recorded daily cyclic variations of about 1 m.

A pumping test has been conducted in order to obtain an approximate value of the transmissivity of the deep aquifer. The test has been interpreted with the Jacob method. The transmissivity of the deep aquifer is about $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

The variations of the traditional aquifer water table measured during pumping test are similar to those measured under undisturbed conditions. So deep and traditional aquifers seem to be well separated, at least for times and spaces scales of this experiment.

BIBLIOGRAFIA

- Airoldi R. & Casati P. (1989) - *Le falde idriche del sottosuolo di Milano. Comune di Milano, Acquedotto di Milano, Milano.*
- Giudici M., Foglia L., Parravicini G., Ponzini G. & Sincich B. (2000) - *A quasi three dimensional model of water flow in the subsurface of Milano (Italy): the stationary flow. Hydrology and Earth System Sciences, 4(1), 113-124.*
- Kruseman G.P. & De Ridder N.A. (1994) - *Analysis and evaluation of pumping test data. ILRI, Wageningen, The Netherlands.*
- Provincia di Milano-Sistema Informativo Falda (1995) - *Le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano. Lineamenti idrogeologici vol. 1, Milano.*

Guida per gli autori

Istruzioni

- Gli articoli devono essere presentati nella loro forma finale, tenendo in conto che minime variazioni potranno essere apportate salvo revisioni richieste.
- Un articolo sottoposto a stampa è inteso costituito da materiale originale e non in stampa su altre riviste.
- I manoscritti vanno redatti nel formato più prossimo a quello richiesto.
- I manoscritti possono essere scritti in italiano, inglese o francese e un riassunto in una delle lingue, diversa da quella in cui è scritto l'articolo, è richiesto.
- Il manoscritto va preparato attraverso impiego di un programma di videoscrittura di comune distribuzione e va stampato a doppia interlinea e ampi margini. Può essere riportato il numero di pagina ma non deve contenere riferimenti a numeri di pagina.
- L'ordine con cui devono essere organizzati i manoscritti è il seguente:
 - a. Titolo
 - b. Nome dell'autore, loro affiliazioni e indirizzi. Nel caso di manoscritto con più autori specificare il nome dell'autore a cui fare riferimento per lo scambio di informazioni
 - c. Riassunto - Parole chiave (in italiano e in inglese) - Introduzione - Area di studio, metodi usati e materiali studiati o adottati - Risultati e analisi - Discussione e conclusioni - Ringraziamenti - Appendici eventuali - Bibliografia - Riassunto esteso nella seconda lingua, possibilmente inglese - Tabelle - Didascalie figure - FigureL'editore si riserva il diritto di rispeditore all'autore di un articolo il materiale originale, sia che l'articolo sia accettato o rifiutato per la stampa

Riassunto

- Il riassunto deve essere conciso e deve contenere riferimenti ai metodi e ai principali risultati e conclusioni derivanti.
- Articoli in italiano potranno avere in coda un riassunto esteso in inglese

References

- Tutti i riferimenti bibliografici citati nel manoscritto devono essere riportati in bibliografia in modo completo
 - Nel testo si citi il nome dell'autore insieme con l'anno di pubblicazione
 - La forma et al. non è mai utilizzabile in bibliografia e il riferimento bibliografico deve essere completo dei cognomi e iniziali dei diversi autori.
 - I riferimenti bibliografici nel testo vanno ordinati cronologicamente qualora più citazioni vengano fatte in contemporanea.
- Il formato della bibliografia è il seguente :
- Articoli: Nome e iniziali di tutti gli autori, anno. Titolo articolo.
 - Volumi editi: Nome e iniziali di tutti gli autori, anno. Titolo articolo. Nome e iniziali dell'editore-coordinatore del volume, titolo del volume. Editore, città, pagine iniziali e finali
 - Atti di convegni: Nome e iniziali di tutti gli autori, anno. Titolo articolo. Titolo della conferenza, Nome e iniziali dell'editore-coordinatore, Editore, Città' pagine iniziali e finali

Figure

- Tutte le figure devono essere presentate separatamente dal manoscritto, non piegate e originali. Ogni figura deve essere di ottima qualità, stampata su carta bianca o lucida.
- Fotografie e simili devono essere di buona e ottima qualità con buon contrasto e stampate su carta lucida o eventualmente devono essere forniti i negativi.
- Tutte le figure devono essere richiamate nel testo con il loro specifico numero d'ordine
- Ogni figura deve essere identificata chiaramente sul suo rovescio con il relativo numero d'ordine e nome dell'autore. Nel caso di dubbia orientazione indicare quale è il verso (alto e basso).
- Ogni illustrazione deve essere realizzata pensando al formato della rivista in modo da consentire una riproduzione appropriata che permetta sempre la lettura anche sotto riduzione.
- Indicazioni, lettere e numeri devono essere chiari e ben leggibili e eventuali riferimenti devono essere presenti nel testo o nelle didascalie.
- Ricordarsi che le scale grafiche sono sempre preferibili perché consentono riproduzioni a diverse dimensioni senza perdere di significato.
- Cartine: devono sempre contenere l'indicazione del nord e possibilmente delle coordinate.
- Ogni figura deve avere una sua didascalia e tutte le didascalie devono essere poste in un foglio a parte sempre a doppia interlinea.

- Il testo all'interno delle figure deve essere quello essenziale e il resto va posto nella didascalia
- Se possibile fornire sia una stampa che il formato digitale delle immagini.
- Figure a colori possono essere prese in considerazione per la pubblicazione se effettivamente necessarie

Table

- Va tenuta presente la dimensione delle tabelle rispetto a quella del formato di stampa della rivista.
- Evitare tabelle troppo grandi o altrimenti suddividere il contenuto in più tabelle.
- Le tabelle devono sempre possedere un titolo e una didascalia. Righe e colonne devono avere dei titoli chiari e evidenti, devono essere inoltre riportate le unità di misura. Le tabelle devono essere numerate e le didascalie delle tabelle vanno poste tutte su un foglio a parte con interlinea doppia.
- Evitare didascalie troppo lunghe. In caso si diano maggiori spiegazioni nel testo.

Formule

- Tutte le formule devono essere presentate in formato consistente e chiaro e significato di ogni simbolo deve essere chiaro e evidente.
- E' possibile preparare una lista di simboli in una apposita appendice
- Equazioni differenti devono essere separate possibilmente da del testo e l'interruzione di una formula con degli a capo deve essere evitata.
- Non devono essere utilizzati, se possibile, simboli molto simili.
- Se le formule devono essere richiamate nel testo, queste devono essere numerate in ordine progressivo.
- Nelle formule chimiche deve essere data la valenza degli ioni, per esempio: Ca^{2+} , Co_3^{2-}
- Per gli isotopi vale la rappresentazione del tipo ^{18}O

Copyright

Dopo l'accettazione dell'articolo, il copyright viene trasferito all'Editore. Eventuale richiesta di Estratti deve pervenire insieme al manoscritto definitivo.

Per qualsiasi informazione rivolgersi a :

GEO GRAPH s.n.c.
Via Turati, 5/M
20090 SEGRATE MI

Tel.02 - 26.92.29.24 - Fax 02- 21.37.289
E-Mail : acquesotteranee@tin.it



Il diritto alla privacy.

Con la sottoscrizione della cartolina allegata, il nominativo indicato sarà automaticamente inserito nella nostra banca dati che serve per motivi contabili e fiscali, oltre alla possibilità di spedire la rivista o le proposte editoriali. I dati contenuti nella nostra banca sono assolutamente riservati e non possono essere oggetto di divulgazione a terzi nel rispetto dell'articolo 10 e seguenti della legge 675/96. In ogni momento Ella potrà ottenere la conferma e la messa a disposizione dei propri dati personali o chiederne eventualmente la cancellazione.